

Opinnäytetyö (AMK)

Tietotekniikka

Internet-tekniikka

2012

Antti Lagus

VOIP-PUHELINLIIKENTEEEN LAADUN PARANTAMINEN YRITYKSESSÄ



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Antti Lagus

VoIP-PUHELINLIIKENTEEEN LAADUN PARANTAMINEN YRITYKSESSÄ

Yritysten omissa verkoissa kaikki tieto kulkee usein etenkin jonotuksen osalta oletusarvoilla, eli liikenne lähtee solmukohdasta eteenpäin siinä järjestyksessä, missä se siihen saapuikin. Tämä aiheuttaa monesti kuitenkin ongelmia viivekriittisessä puheliikenteessä.

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin työn tilaajayrityksen verkkoa, etsittiin puheluliikenteen ongelmien syyt sekä etsittiin ratkaisuehdotus ongelmien poistamiseksi. Ratkaisun testaaminen suoritettiin yrityksen tiloissa rakentamalla sen laitteista pieni laboratorioverkko. Tämä verkko yhdistettiin yrityksen runkoverkkoon VPN-tunnelointia käyttäen.

Tuloksena löydettiin ratkaisu, jota käyttämällä voidaan saada puheluliikenne toimimaan silloinkin kun verkko on kovan rasituksen alaisena. Ratkaisussa puheluliikenne asetetaan kytkimissä sekä palomuuereissa haluttuihin jonoihin, joille annetaan suurempi prioriteetti kuin muulle liikenteelle. Näin toimimalla varmistetaan, etteivät kyseessä olevat pienikokoiset viivekriittiset paketit joudu jonottamaan solmukohdissa toimivuuden kannalta liian pitkiä aikoja.

Ratkaisu on muissakin vastaavan kaltaisissa ympäristöissä helposti toteutettava ja kustannuksiltaan edullinen. Kaistanleveyttä ei tarvitse lisätä, jotta samantyyppinen ongelma saadaan ratkaistua.

ASIASANAT:

tietotekniikka, puheensiirto, nettipuhelut, VoIP, QoS

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Information Technology | Internet Technology

20.4.2012 | 25 pages

Instructors: Olli Ojala, B.Eng. | Juha Nikkanen, Lic.Tech., Principal Lecturer

Antti Lagus

ENHANCING VOIP CALL QUALITY IN A CORPORATE NETWORK

Today's companies use more and more VoIP calls. By default, especially with queuing, all traffic in a company's internal network travels with default values, resulting in all traffic being treated on the first-in first-out principle. This causes problems with latency and jitter sensitive traffic like VoIP calls.

This thesis describes one company's problem with call quality, finds the main reason for it and gives a solution proposal which fixes the problem at hand. The testing was done in the company's own network using the same equipment and device models that are used every day by its clients.

The found solution uses elements from QOS including strict-priority queuing where phone traffic is given a higher priority than the rest. This way the VoIP packets will not get stuck behind other, possibly a lot bigger packets. Hence, latency and jitter related problems are minimized in the path of the VoIP packet.

By implementing the solution proposed in this thesis, the company's problems with VoIP call quality was eliminated.

The found solution is easy and cost-efficient to implement in all similar circumstances.

KEYWORDS:

voice over internet protocol, quality of service, priority queuing

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET

1 JOHDANTO	1
2 TEORIAVIITEKEHYS JA VIITTEITÄ	3
2.1 Verkkojen kehityksestä	3
2.2 Quality of service	5
2.2.1 QoS-strategian suunnittelu	5
2.2.2 QoS-malleja	6
3 VOIPIN TESTAAMINEN	8
3.1 Oletuksia VoIPin toiminnasta yrityksen verkossa	9
3.2 Kytkimet	9
3.3 Palomuurit	9
4 YRITYKSEN VERKKO JA LAITTEET	10
4.1 Verkon yleiskuvaus	10
4.2 Laitteet	11
4.2.1 Kytkimet	11
4.2.2 Reitittimet	12
4.2.3 ADSL-yhteydet ja niissä käytettävät laitteet	12
4.2.4 Palomuurit	12
4.2.5 Puhelinkeskus ja puhelimet	13
4.2.6 VoIP-puhelinvaihde ja Asterisk-ohjelmisto	13
4.3 Yhteydet ja niiden nopeudet	13
4.4 Liikenne ja sen tutkiminen	14
5 TESTAAMINEN	15
5.1 Yleiskuvaus	15
5.2 Testitopologia	17
5.3 Testausvaihe 1	18
5.4 Testausvaihe 2	18
5.5 Testausvaihe 3	19
5.6 Yhteenveto testaamisesta	19
6 EHDOTETUT MUUTOKSET	21
6.1 Luokittelu	21
6.2 Priorisointi	21
6.3 Jonot	21

6.4 Koodekki	22
6.5 Laitteet	23
6.5.1 Kytkimet	23
6.5.2 Palomuurit	23
6.5.3 ADSL-modeemit	24
7 YHTEENVETO	25
LÄHTEET	I

LIITTEET

Liite 1. Konfiguraatiokomentoja.

KUVAT

Kuva 1. Eri verkot eri liikennetyypeille.	3
Kuva 2. Kaikki liikenne samassa verkossa.	4
Kuva 3. Verkon yleiskuva toimipiste-esimerkein.	11
Kuva 4. Testitopologia.	17
Kuva 5. Samanaikaisten puheluiden määrä 1 Mbit:n linjan yli.	22
Kuva 6. Liikenteen priorisointi NSM-hallintaohjelmalla.	24

KUVIOT

Kuvio 1. Kaistan käyttöaste statistiikkapalvelusta.	14
---	----

TAULUKOT

Taulukko 1. DiffServ-mallin toimintaketju ja vaihtoehdot (Cisco Whitepapers: DiffServ - The scalable end to end quality of service model).	7
--	---

KÄYTETYT LYHENTEET

ADSL	verkkokytkintekniikka (asymmetric digital subscriber line)
BGP	reititysprotokolla (border gateway protocol)
DRG/ATA	puheen digitalisointilaite. (digital residential gateway/analog telephone adapter)
DSCP	6 bittiä pitkä luokittelukenttä IP-paketissa (differentiated services code point)
FIFO	jonotussysteemi (first in first out)
FTP	tiedonsiirtoprotokolla (file transfer protocol)
IP	tietoliikenneprotokolla (internet protocol)
ISP	internet-palveluntarjoaja (internet service provider)
MPLS	kuljetusmenetelmä, jolla kuljetetaan esimerkiksi IP-paketteja ennalta määriteltyjen yhteyksien yli nopeissa runkoverkoissa ilman solmukohdissa tehtävää reititystä (multiprotocol layer switching)
OSPF	reititysprotokolla (open shortest path first)
QoS	liikenteen luokittelu ja priorisointi työkalut (Quality of service)
RIP	reititysprotokolla (routing information protocol)
SCP	tiedonsiirto protokolla joka käyttää pohjanaan SSH:ta (secure copy)
SSH	salatun tietoliikenteen protokolla (secure shell)
VoIP	termi tekniikalle jonka avulla puhetta siirretään IP-tekniikkaa käyttävissä verkoissa (voice over internet protocol)
VPN	näennäisverkko, jolla yhdistetään kaksi tai useampi verkko julkisen verkon yli (virtual private network)
WWW	Internet-verkossa toimiva hajautettu hypertekstijärjestelmä. (world wide web)

1 JOHDANTO

Nykyajan verkoissa on monentyyppistä liikennettä kuten

- interaktiivista ääni- ja videoliikennettä (puhelut, videokokoukset)
- videoliikennettä (kuvaa valvontakameroista)
- ääniohjelmien aiheuttamaa liikennettä (puheluiden hallintaliikenne)
- liiketoimintaliikennettä (e-kauppa, liiketapahtumat)
- reititykseen liittyvää liikennettä (RIP, OSPF, BGP)
- verkon hallintaliikennettä (SSH, Telnet)
- perusliikennettä (WWW, FTP) ja
- scavenger-liikennettä (viihdekäyttöön liittyvä liikenne).

Eri liikennetyypeillä on hyvin erilaisia vaatimuksia verkolle tietoturvan, viiveen ja kaistanvarauksen suhteen. Esimerkiksi ääni- ja videoliikenne vaativat taatun kaistanleveyden ja alhaisen viiveen (latency) sekä vähäisen vaihtelun viiveessä (jitter) toimiakseen tyydyttävästi, liiketoimintaliikenne tarvitsee korkeaa luotettavuustasoa, tietoturvaa sekä suhteellisen pientä taattua kaistanleveyttä. Tiedonsiirtoliikenne puolestaan kuluttaa oletusarvoisesti linkin kaiken vapaan, käytettävissä olevan kaistanleveyden. Tyydyttääkseen käyttäjiä puhelinliikenne tarvitsee alhaisen viiveen ja vaihtelun lisäksi korkean tason luotettavuutta ja saatavuutta.

Tämän työn tilannut yritys toimii pankki- ja rahoitusalailla. Yrityksen asiakkaat käyttävät IP-puhelinjärjestelmää sekä IP-puhelimia. Puheluiden laadussa on ilmennyt paljon laadullisia ongelmia. Puhelut ovat aika ajoin yhdistyneet huonosti, saattaneet katketa kesken puhelinkeskustelun tai niiden äänenlaatu on ollut ajoittain äärimmäisen huono eivätkä keskustelun osapuolet ole pystyneet ymmärtämään toisiansa.

Työn tavoitteena on selvittää ongelmien syy ja tuottaa ehdotus korjaustoimenpiteistä sekä mahdollisesti aloittaa löydetyn ratkaisun käyttöönotto osassa yrityksen verkkoa. Ehdotuksen tärkein tavoite on tuottaa ratkaisu, jonka avulla voidaan poistaa puheluiden laadussa ilmenneet ongelmat, sillä ne ovat

olleet suuressa osassa mitattaessa asiakkaiden tyytyväisyyttä yrityksen tarjoamiin palveluihin.

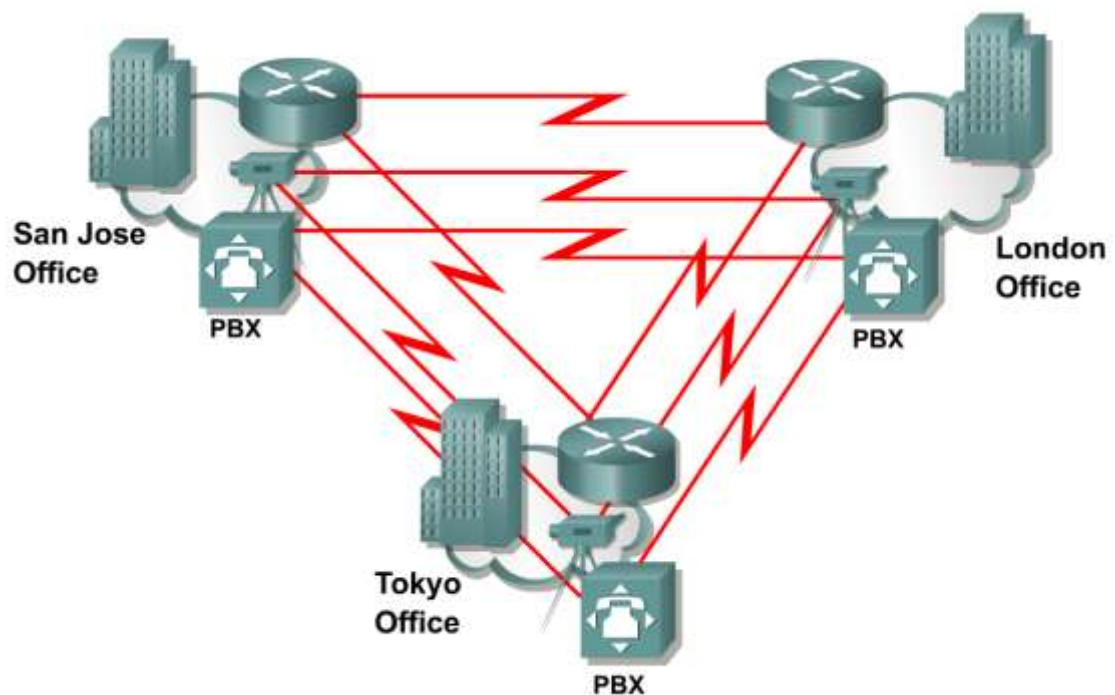
Kuvatun kaltaisessa ympäristössä pelkkä kaistanleveyden lisääminen on kallis eikä edes yksinään riittävä keino saada verkko toimimaan moitteetta.

Eri liikennetyypeillä on siis eri vaatimukset verkolle. Verkon toimintaa voidaan tehostaa QoS-järjestelyin, joiden painopiste tässä työssä liittyy puhelinliikenteen priorisointiin.

2 TEORIAVIITEKEHYS JA VIITTEITÄ

2.1 Verkkojen kehityksestä

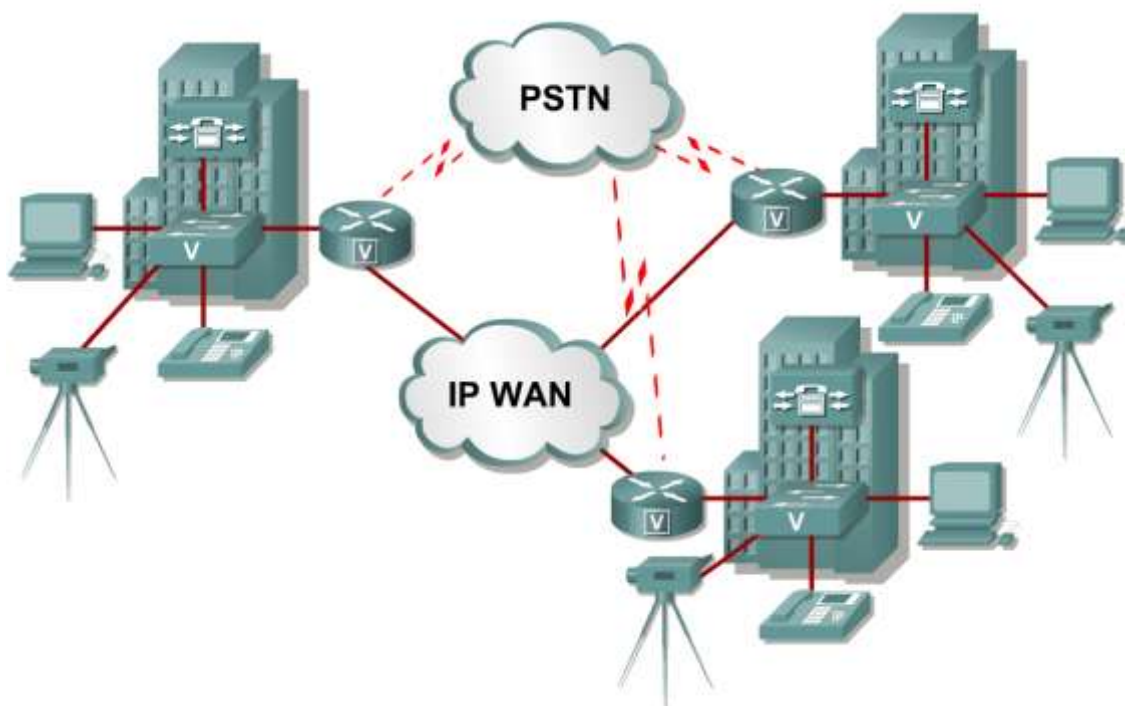
Aikaisemmat verkkotekniikat eivät mahdollistaneet kaiken tietoliikenteen siirtämistä samassa verkossa, vaan yrityksillä oli, ja on osittain vieläkin, omat itsenäiset verkot äänelle, videolle ja tietoliikenteelle (data). Yksinkertaistettuna puhe käytti puhelinkeskuksia ja tietoliikenne reitittimiä. Video siirtyi hyvin kalliita leased lines -yhteyksiä pitkin. Tämän mallinen ratkaisu (Kuva 1) on nykyään tekniikoiden kehityttyä hyvin tehoton ja kallis.



Kuva 1. Eri verkot eri liikennetyypeille [1]

Suureksi avuksi on tullut IP-tekniikan käyttäminen tietoliikenteen siirrossa. Sen avulla voidaan kaikki aiemmin erilliset tietoliikenteen muodot siirtää samassa verkossa, jolloin kustannukset ovat edullisemmat ja helpommin hallittavissa. Lisäksi Ethernet-protokolla on osoittautunut hyvin kehittyväksi siirtonopeuksien kasvaessa, 10Mb/s -> 100 Mb/s -> 1000 Mb/s (1000MB/s = Gigabit Ethernet) [1].

Syksyllä 2011 oltiin enenevässä määrin siirtymässä verkkorakenteisiin, jossa erityyppiset liikennevirrat kulkevat samassa verkossa. Tämän kaltaisella ratkaisulla saadaan aikaan merkittäviä säästöjä, etenkin pitemmällä aikavälillä mitattuna.



Kuva 2. Kaikki liikenne samassa verkossa [1]

Verkkojen yhdistäminen tuo kuitenkin mukanaan uusia haasteita. Suurin osa liikennevirroista on luonteeltaan jaksottaista: kaistanleveyden varaus on toisinaan suurta ja muina hetkinä liikennettä voi olla hyvinkin vähän. Juuri liikennevirtojen ollessa huipussaan lähellä linjan kapasiteettia uudet haasteet tulevat esille.

Jos siirtonopeus ei riitä, paketit joutuvat odottamaan jonoissa ja usein niitä myös pudotetaan (packet drops). Viiveelle kriittisissä liikennetyypeissä, kuten VoIP, tämän kaltainen palvelutaso ei riitä vaan puheluiden äänenlaadussa tulee ongelmia ja pahimmassa tapauksessa puhelu katkea tai sitä ei voida edes muodostaa.

Ratkaisuksi nykyisissä verkoissa ilmeneviin laadullisiin ongelmiin on suunniteltava verkko siten, että eri tyyppin liikenteet on otettava huomioon. Tässä apuun tulevat QoS-työkalut. Niiden avulla voidaan liikenteelle tarjota eri palvelutasoja. Ylikuormitustilanteissa voidaan valita mitä paketteja pudotetaan. Luokittelun avulla vähempiarvoiset paketit pudotetaan ennen kuin korkeamman arvon saaneet paketit. Jos 1. prioriteetin liikennettä on yli linkin kapasiteetin, joudutaan pudottamaan myös tärkeitä paketteja. Tällöin selkein ratkaisu on kasvattaa kyssä olevan linkin siirtonopeuskapasiteettia.

2.2 Quality of service

Quality of service on termi, jolla on monia merkityksiä. Sillä tarkoitetaan tässä opinnäytetyössä resurssien varaamismekanismeja ja työkaluja joilla pyritään takaamaan puheluille riittävä palvelutaso. QoS-työkalujen avulla on mahdollista tarjota eri prioriteetteja eri sovelluksille, käyttäjille tai liikennevirroille tai taata tietty suoritustaso jollekin liikennevirralle (data flow). Tässä työssä keskitytään QoS:n osa-alueista jonoihin ja liikennevirtojen priorisoimiseen niitten tyyppin perusteella.

2.2.1 QoS-strategian suunnittelu

Strategian suunnittelun vaiheet ovat seuraavat[1]:

1. Määritellään liikenteen luokat. Mitkä ovat meille tärkeitä?
2. Määritellään menettelytavat (policies) luokille. Mitä tälle liikenteelle tehdään?
3. Otetaan menettelyt käyttöön halutuissa laitteissa ja niiden porteissa (interfaces).

QoS-strategiaa suunniteltaessa on tärkeää ottaa huomioon, ettei yhden luokan priorisointi aiheuta ongelmia muiden, etenkin yritykselle tärkeiden, luokkien liikenteelle.

2.2.2 QoS-malleja

QoS-malleja on käytössä kolme:

- Best-effort
- Integrated services (IntServ)
- Differentiated services (DiffServ).

Best-effort

Best-effort-malli ei käytä QoS-työkaluja ollenkaan. Kaikki paketit käsitellään samanarvoisesti ja siirtonopeus, viive ja värinä ovat ennalta-arvaamattomia. Jos QoS- menetelmiä ei ole otettu käyttöön, tämä on oletusmalli kaikelle liikenteelle [1].

Integrated services

Integrated services –mallilla voidaan taata korkean luokan palvelutaso IP-paketeille. Tässä mallissa resurssit varataan verkolta ennen liikenteen aloittamista. Varaamiseen käytetään RSVP-protokollaa. Jos verkko ei pysty varaamaan pyydettyjä resursseja, joita ovat tarvittava siirtonopeus, viive sekä maksimi pakettihäviö, paketteja ei lähetetä ollenkaan. Integrated services –mallista käytetäänkin termiä hard-QoS [1].

Differentiated services

DiffServ-malli tarjoaa karkeammat ja skaalautuvammat mekanismit kuin edellä mainitut best-effort- ja integrated services-mallit (tarkempi kuvaus diffserv-mallista Internet Engineering Task Forcen RFC:ssä 2474 ja 2475).

DiffServ-malli pystyy tarjoamaan ”melkein taatun” palveluntason mutta on kuitenkin samalla kustannustehokas ja skaalautuva. DiffServ ei käytä

signalointia vaan toimii ennalta määrätyn QoS-rakenteen mukaan, jossa liikenne jaetaan eri luokkiin.

Eri luokille tarjotaan sitten verkosta eri tasoista palvelua. Esimerkiksi ääniliikenteelle annetaan usein korkein prioriteetti sen vaatiman pienen viiveen ja värinän vuoksi, kun taas vaikka sähköpostiliikenteelle tarjotaan vain best-effort-tasoista palvelua. Kaikelle yritykselle tarpeettomalle tai vähempiarvoiselle liikenteelle voidaan tarjota hyvin pieni palvelutaso tai vaikka estää tämä liikenne kokonaan. [1]

Taulukko 1 kuvaa DiffServ-mallin toimintavaihtoehtoja. Kaikkia taulukon kenttiä ei ole suomennettu, sillä käytännössä suomenkieliset käännökset ovat kömpelöitä eivätkä ne ole yleisesti käytössä.

Taulukko 1. DiffServ-mallin toimintaketju ja vaihtoehdot.

Cisco Whitepapers: DiffServ - The scalable end to end quality of service model.

Match Conditions Keyword: Class-Map	Policy Actions Keyword: Policy-Map		
Classification (luokittelu)	Pre-Queuing (ennen jonoon asettamista)	Queuing and Scheduling (jonotus ja jonojen purtaminen)	Post-Queuing (jonotuksen jälkeiset toimet)
Classify Traffic (liikenteen luokittelu)	Immediate Actions (välittömät toimenpiteet)	Congestion Management and Avoidance (ruuhkan hallinta ja välttäminen)	Link Efficiency Mechanisms (linkin tehostusmekanismit)
Match one or more attributes (partial list): • Access Control List (ACL) • COS • Differentiated Services Code Point (DSCP) • Input-interface • Media Access Control (MAC) address • Packet length • Precedence • Protocol • VLAN	• Mark (set QoS values) • Police • Drop • Count • Estimate bandwidth	• Queue-limit • Random-detect • Bandwidth • Fair-queue • Priority • Shape	• Compress header • Fragment • (link fragmentation and interleaving, Layer 2)

DiffServ-mallin toimintaa voisi kuvata postipakettipalveluna. Pyydetään tietyn tasoista palvelua, kun lähetetään paketti. Koko paketin matkan pyydetty taso tunnistetaan, ja paketti saa joko pikapakettipalvelua tai menee normaalin postin mukana.

Diffrentiated services –malli tarjoaa parhaan skaalautuvuuden ja joustavuuden QoS:n käytössä. Verkkolaitteet tunnistavat liikenteen eri luokat ja tarjoavat eri palvelutasoja eri liikennetyypeille. Tämä malli on suosituin tällä hetkellä käytössä olevista malleista skaalautuvuutensa takia. [1]

3 VOIPIN TESTAAMINEN

Termillä VoIP tarkoitetaan tekniikkaa, jonka avulla ääntä voidaan siirtää reaaliaikaisesti IP-verkossa. VoIP-puheluliikenne koostuu kahdesta osasta: puhelukontrolliliikenteestä ja ääniliikenteestä. Kontrolliliikenne käyttää kuljetukseen TCP-protokollaa ja ääni siirtyy UDP-protokollan avulla. Voip-liikenne tarvitsee toimiakseen parhaalla mahdollisella tavalla takeet kaistanleveydestä, lyhyen viiveen ja pienen vaihtelun viiveessä. Työssä ei syvennyttä VoIP tekniikkaan yleisesti, vaan keskitytään laadun kannalta olennaisiin seikkoihin. VoIP-tekniikasta enemmän kiinnostuneille erinomaisia kirjoja ovat esimerkiksi Kari Saarelaisen IP-puhe (2011) sekä Voice over IP (2002), jonka on kirjoittanut Jonathan Davidson ja James Peters.

Työssä tutkittiin oletusarvoisena kulkevan liikenteen ja asteittain QoS-työkalujen avulla toteutetun liikenteen laadullista eroa puheluissa, pyrkimyksenä tuottaa ratkaisuna ehdotus, jonka avulla saadaan puheluissa ilmenneet ongelmat poistettua.

Tarkoituksena oli keskittyä ratkaisemaan ongelma päätelaite (puhelin), palomuuuri- ja kytkintasolla, sillä näitä laitteita yritys hallitsee verkossa itse. Tämänkaltaisen ratkaisu olisi myös kaikkein kustannustehokkain.

3.1 Oletuksia VoIPin toiminnasta yrityksen verkossa

Liikenteen kulkiessa oletusarvoilla tarkoittaen jonojen osalta FIFO-periaatetta, jossa paketit lähtevät laitteelta eteenpäin saapumisjärjestyksessä, on todennäköistä että viiveelle kriittiset, pienikokoiset voip-paketit jäävät, etenkin ruuhka-aikoina, suurempien pakettien taakse jonoon puheluiden toimivuuden kannalta liian pitkäksi aikaa. Muuttamalla jonotus priorisoituihin jonoihin voidaan tämä välttää. Priorisoidussa (strict priority queueing) jonojärjestelmässä palvellaan korkeamman prioriteetin jono kokonaan ennen kuin seuraava jono saa palvelua [4].

Työssä selvitettiin myös mitä eri puhekoodekkeja yrityksen nykyinen laitteisto tukee sekä koodekkien vaikutusta puheluiden käyttämään kaistanleveyteen ja puheluiden äänenlaatuun, mikäli linkkien siirtonopeus osoittautuu riittävän merkittäväksi tekijäksi ongelman ratkaisussa.

3.2 Kytkimet

Kytkimissä tullaan testaamaan konfiguraatiomuutosten vaikutusta jonotuksen osalta muuttaen jonotussysteemi FIFOsta priorisoituihin jonoihin. Tällä yritetään kytkinten osalta poistaa se todennäköinen ongelmakohta, missä pienet paketit joutuvat odottamaan isojen pakettien takana. Tämän muutoksen toivotaan poistavan kytkinten osalta VoIP-pakettien viivettä.

3.3 Palomuurit

Palomuuressa testaamisen perusajatus on hyvin pitkälti sama kuin kytkimissä, vain toteutus on hieman erilainen. Yrityksen verkoissa liikennettä sallitaan tai estetään erilaisten sääntöjen (policies) avulla. Tämä helpottaa erityyppisten liikennevirtojen hallinnointia kun eri päätelaitteiden IP-osoitteisiin perustuvan hallinnoinnin sijasta liikennettä voidaan kontrolloida solmukohdissa sen tyyppin mukaan.

Testauksessa tullaan käyttämään uutta, päätelaitteiden osalta tarkempaa sääntöä, jolla VoIP-liikenne pyritään lähettämään palomuuressa ennen muita

paketteja. Palomuuressa tullaan lisäksi testaamaan myös kaistanleveyden eri arvoja, jotta saadaan selvitettyä kaistanleveyden osuutta ongelman ratkaisussa. Tämä tullaan toteuttamaan kuristamalla VPN-tunnelin (virtual private network) kaistanleveyttä asteittain pienemmäksi.

4 YRITYKSEN VERKKO JA LAITTEET

Ehdotuksen aikaan saamiseksi oli selvitettävä verkon rakenne, laitteet ja niiden ominaisuudet, laitteiden väliset yhteydet, yhteyksien nopeudet ja eri laitteiden käytössä olevat konfiguraatiot. Tutustumiseen käytettiin yrityksen omaa, intranetistä löytyvää laite-, sovellus- ja konfiguraatioesimerkkejä sisältävää wikipedia-sivustoa, laitevalmistajien verkkosivuja ja laitteiden käyttöoppaita sekä laitteiden käyttöön ja ominaisuuksiin liittyvien kurssien kurssimateriaaleja.

Jotta ehdotusta voidaan edes aloittaa miettimään ja suunnittelemaan, on tunnettava käytössä oleva verkko riittävän hyvin. Työssä ylivoimaisesti aikaa vievin osuus oli juuri yrityksen verkkoon, laitteisiin ja konfiguraatioihin tutustuminen. Laitteisiin tutustuttaessa on tärkeää ottaa huomioon haluttujen ominaisuuksien osalta eri ohjelmistoversioista mahdollisesti löytyvien ja tiedettyjen ohjelmointivirheiden vaikutus itse laitteen toimintaan. Nämä tiedot löytyvät laitteiden valmistajien www-sivuilta. Työssä tämänkaltaisen virhe löytyi kytkimen ohjelmistosta ja se saatiin korjattua laiteohjelmistopäivityksen avulla.

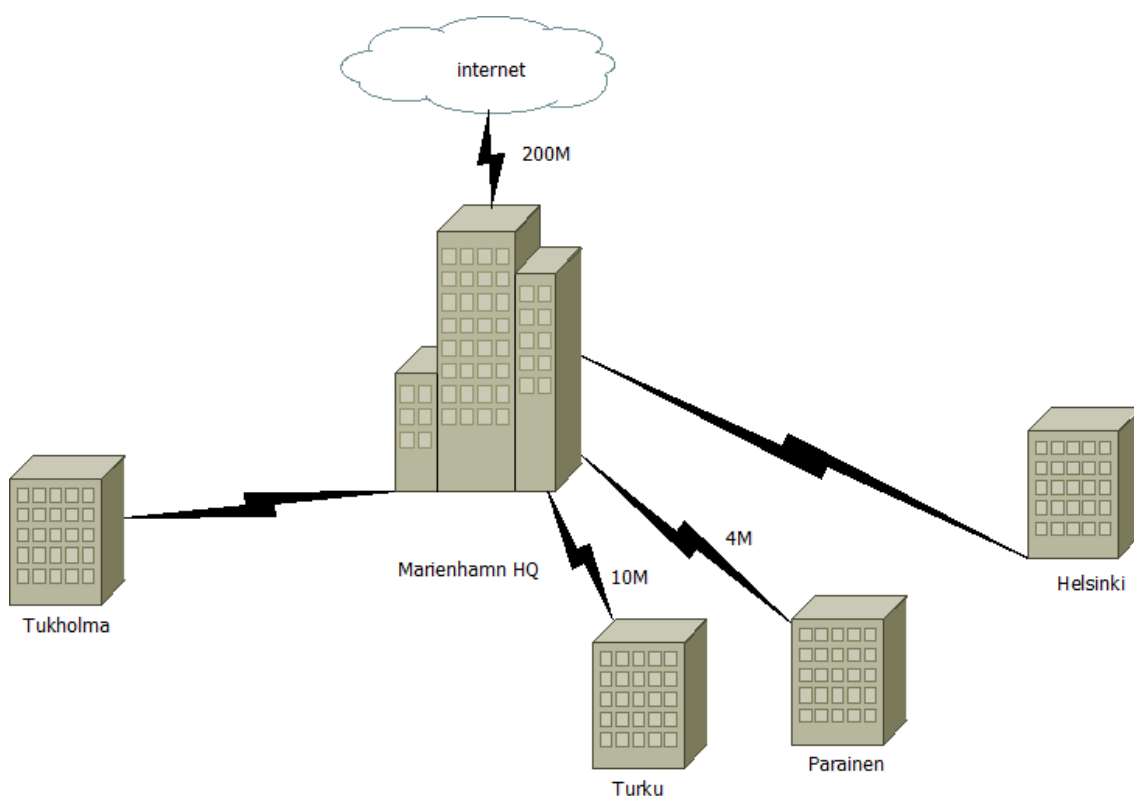
4.1 Verkon yleiskuvaus

Yrityksen verkko on laaja. Sillä on toimipisteitä Suomessa, Ahvenanmaalla ja Ruotsissa. Tässä työssä tiivistettiin verkon kuvausta työn kannalta oleelliset osat säilyttäen. Nopeuksista on annettu vain esimerkkejä.

Toimipisteiden väliset yhteydet on toteutettu pääasiassa MPLS/IP-tekniikalla, palveluntarjoaja TDC:ltä. Lisäksi mm. saariston pienet konttorit ovat ADSL-tekniikalla yhdistettynä runkoverkkoon.

Verkko koostuu toimipistekohtaisesti kytkimistä, palomuuressa ja reitittimistä. Pelkästään toimipistekohtaisia palomuuressa on yli 70. Lisäksi verkosta löytyy

palvelimia ja erilaisia päätelaitteita, joista työn kannalta keskeisempiä ovat IP-puhelimet. Ohjelmistopuhelimia käyttää ainoastaan käyttäjätuen henkilöstö. Ohjelmistopuhelimet käyttävät samoja asetuksia DSCP:n osalta kuin puhelinlaitteetkin, joten niiden osalta ylimääräistä työtä ei tule. [6]



Kuva 3. Verkon yleiskuva toimipiste-esimerkein.

4.2 Laitteet

4.2.1 Kytkimet

Suurin osa kytkimistä on Extreme Networksin Summit x250e -laitteita. Laitteissa on tuki DSCP:n (differentiated services code point) käytölle. Kytkimissä voidaan asettaa liikenne haluttuihin jonoihin, joita on 8: Qp1, Qp2, Qp3, Qp4, Qp5, Qp6, Qp7 ja Qp8 [5].

Osa kytkimistä on kytketty pinoon (engl. stack). Pinoon kytkettäessä laitteet toimivat yhtenä loogisena kytkimenä, mutta porttien määrä toimipisteessä on

näin mahdollista tuplata. Tämä on otettava huomioon jonoja suunnitellessa, sillä pinoamisen ollessa käytössä, jonoista Qp6 ja Qp7 ovat pinoamisen kontrolliliikenteen varaamina jos kytkimen ohjelmistoversio on pienempi kuin 12.1. Ohjelmistoversiosta 12.1 alkaen pinoaminen varaa ainoastaan jonon Qp7.

4.2.2 Reitittimet

Käytössä on pääosin asiakkaiden tiloissa Ciscon 1841- sekä 800-sarjaa. Internetin rajapinnassa on Juniperin M7i-laite, joka yhdistää verkon BGP-protokollaa käyttäen internetiin kahden eri palveluntarjoajan kanssa (TDC Song ja Ålcomm, 2x200 Mbit). Ciscon reitittimillä hoidetaan toimipisteiden reititys yrityksen runkoverkkoon. Juniperit hoitavat BGP-yhteydet kahteen eri ISP:iin (TDC ja Ålcomm). Reitittimien ylläpito ja hallinnointi on ulkoistettu, eikä niiden yksityiskohdista kerrota työssä enempää. Niiden tietojenkäsittelykapasiteetti ei aiheuta ongelmia työn kannalta.

4.2.3 ADSL-yhteydet ja niissä käytettävät laitteet

Saariston konttoreissa on Zhone 6212 ADSL2+ -modeemit. Ålcomm hallinnoi saariston ADSL-yhteyksiä ja modeemeita. Saaristokonttoreissa on kaikissa yrityksen hallinnoima palomuuuri, jolla liikenne tunneloidaan runkoverkkoon. Tarvittaessa saaristotoimipisteestä löytyy myös kytkin, joka sijaitsee runkoverkkoon päin katsottaessa ennen palomuuria.

4.2.4 Palomuurit

Palomuurit ovat työn osalta tärkeitä, sillä niiden kohdalla sijaitsee rajapinta yrityksen ja palveluntarjoajan välillä. Palomuuureihin asti on mahdollista helposti toteuttaa muutoksia yrityksen oman henkilökunnan toimesta.

Runkoliikenne kulkee palomuuureista eteenpäin VPN-tunneleissa. Palomuurilaitteina on käytössä Juniperin laitteita, pääosin malliltaan SSG-5, jossa on käyttöjärjestelmänä ScreenOS.

Tällä hetkellä palomuuureissa on käytössä ScreenoOS:n ohjelmistoversio 6.2. Versionumero on sikäli merkittävä, että versiosta 6.3 alkaen käyttöjärjestelmä tukee sisään tulevien pakettien DSCP-merkintöihin perustuvaa QoS:a.

4.2.5 Puhelinkeskus ja puhelimet

IP-puhelimina käytetään lähes täysin Aastran Dialog 4422 IP –puhelimia. Mallista löytyy tuki quality of servicelle. Se tukee työn kannalta olennaista DSCP-arvojen käyttöä. Puhelin pystyy merkitsemään lähettämänsä paketit puhelinpalvelimelta saamillaan DSCP, 802.1p ja 802.1q arvoilla.

Koodekkina puheluissa käytetään G711:tä. Muita puhelimen tukemia koodekkeja ovat G.729a, G.729ab ja G.723.1.

Analogiset puhelut VoIP-infrastruktuuriin hoidetaan Aastran DRG-laitteilla, jotka välittävät puhelut edelleen VoIP-palvelimelle. VoIP-palvelimena ja puhelinvaihteena toimii Aastran MX-ONE.

MX-ONE palvelin hoitaa puheluiden yhdistämisen ja yhdistävät analogiset puhelimet yhteensopivien DRG-laitteiden avulla IP-verkkoon. Palvelimia hallinnoi ja ylläpitää toinen yritys.

4.2.6 VoIP-puhelinvaihte ja Asterisk-ohjelmisto

VoIP-puhelinvaihteena toimii Aastran MX-ONE ja sen ohjelmistona on Asterisk. (<http://www.asterisk.org>). Vaihteen tehtävänä on mm. puheluiden yhdistäminen ja nauhoittaminen. Pankkien puhelut on lain mukaan nauhoitettava ja nauhoituksia säilytettävä 10 vuotta.

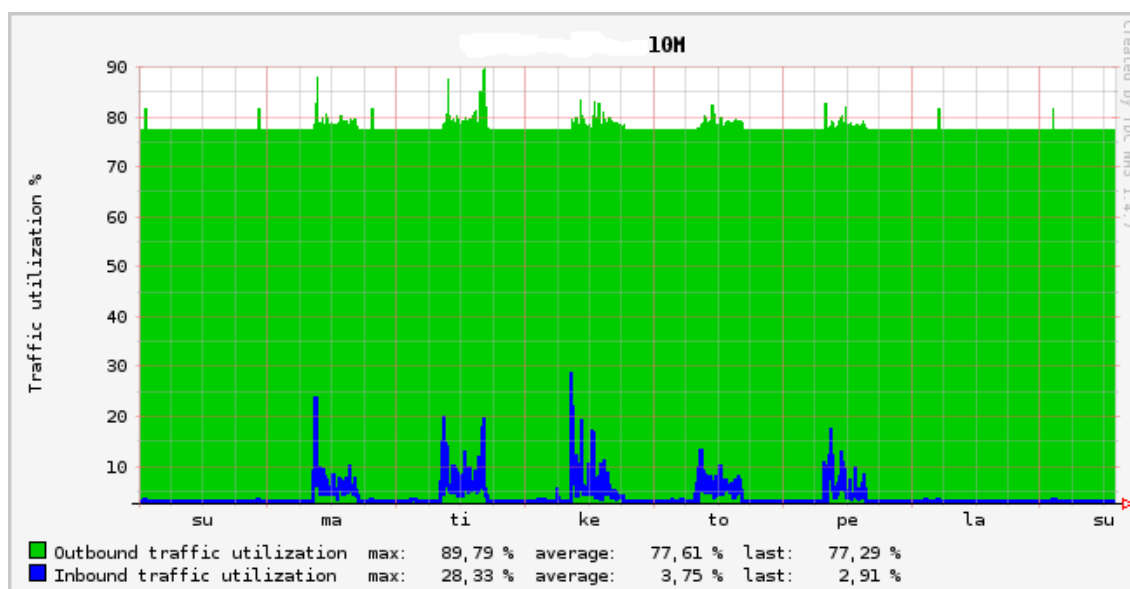
4.3 Yhteydet ja niiden nopeudet

Asiakaskonttorit on yhdistetty VPN-tekniikalla yrityksen runkoverkkoon. Yhteyksien teoreettiset nopeudet vaihtelevat 2 Mbit/s – 1Gbit/s riippuen konttorin koosta ja sen tuottamasta liikennemäärästä. Esimerkiksi pääkonttorin yhteydet kuuluvat välin nopeaan päähän.

4.4 Liikenne ja sen tutkiminen

Yrityksen verkossa liikkuu pääosin erilaisia talousraportteja ja -tietoja, puheluita sekä valvontakameroiden kuvaa.

Näistä tiedonsiirtomäärällisesti suurimman osan käyttää pankkien valvontakameroiden jatkuvasta kuvansiirrosta aiheutuva liikenne sekä erilaiset varmuuskopioitoiminnot. Kameroiden aiheuttama liikenne on helppo havaita liikenneanalysaattorin kuvaajasta (kuvio 1) sen luonteen vuoksi. Kameran lähettävät säädettävissä olevalla, suhteellisen tasaisella nopeudella kuvaa tallennuspalvelimelle ja se näkyy tasaisena kaistankäyttöasteena.



Kuvio 1. Kaistan käyttöaste statistiikkapalvelusta.

Vaikka kaistankäyttöaste ei ollut 100 %, oli puheluissa ilmennyt monesti ongelmia laadun ja yhdistymisen kanssa. Tämä vahvisti epäilyt, että aina pelkkä linkin siirtonopeuden lisääminen ei riitä poistamaan puheluissa ilmeneviä ongelmia. Testauksen aikana käytetyn linkin kuorma oli kuitenkin 100%.

5 TESTAAMINEN

5.1 Yleiskuvaus

Testeillä pyrittiin selvittämään, miten muu liikenne vaikuttaa puhelinliikenteen laatuun. Testejä varten rakennettiin yrityksen omista laitteista pieni laboratorioverkko, jonka avulla kuormituksen vaikutusta puhelinliikenteen laatuun voidaan testata. Laboratorioverkon laitteet olivat merkiltään ja malliltaan samoja kuin yrityksen verkossa jokapäiväisessä käytössä olevat, ja niiden konfiguraatiot ja ohjelmistoversiot olivat suuremmilta osin samoja. Eroja oli lähinnä kytkinten ohjelmistoversioissa ja siinä, että laboratoriokytkimessä käytettiin hieman yksinkertaisempaa konfiguraatiota, koska keskityttiin jonotuksen järjestämiseen.

Testaaminen suoritettiin pienessä osassa yrityksen verkkoa, johon testiverkko liitettiin palomuurin ja VPN-tunnelin avulla.

Aloitettiin päätepisteet (engl. endpoints) yhdistävistä kytkimistä, joiden konfiguraatioita muutettiin siten, että ne tunnistavat puhelinliikenteen DSCP-arvon perusteella ja ohjaavat tämän liikenteen korkeamman prioriteetin jonoon. Toteutus käytössä olevilla Extremen kytkimillä oli erittäin yksinkertainen ja helppo.

Seuraavaksi liikenne kulki palomuurin läpi VPN-tunnelin kautta yrityksen sisempiin verkkokerroksiin (engl. distribution, core). Tässä pisteessä liikenne priorisoitiin säännöllä (engl. policy). Muokattiin olemassa olevia sääntöjä sisältämään liikenteen priorisoinnin. VoIP-liikenteelle löytyi palomuuureissa omat sääntönsä, jotka määrittävät liikenteen pääsyn tietystä pisteestä toiseen.

Runkotason kytkimet (engl. core switches) ovat hyvin tehokkaita, eikä niissä testivaiheessa tehty muutoksia olettaen rohkeasti niiden paketinkäsittelyn nopeuden olevan niin nopea (363 M pakettia/s), että priorisointia siellä ei tarvita.

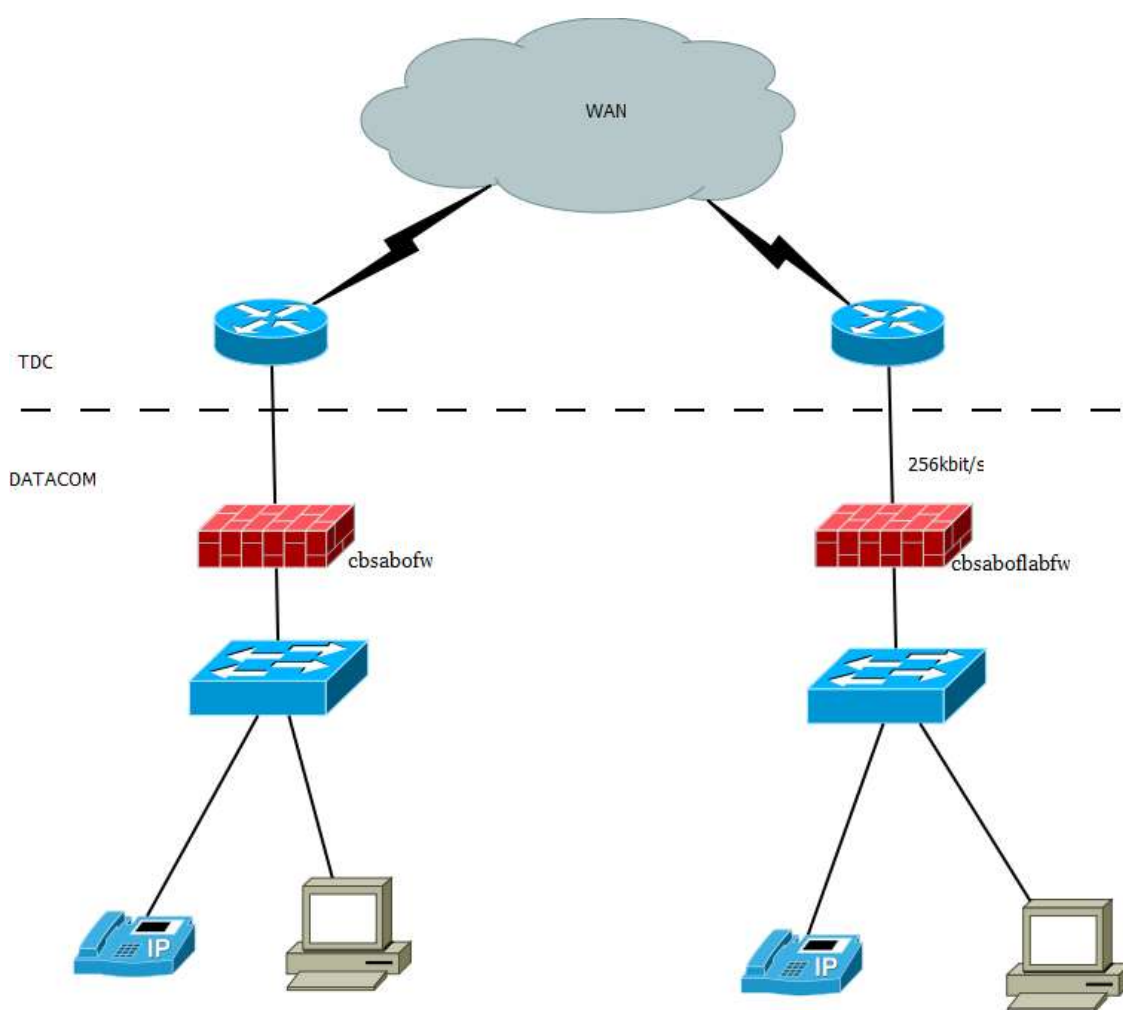
Laboratorioverkon puolelta kuristettiin VPN-tunnelin kaistanleveydeksi 256 kbit/s. Lisäksi ruuhkautettiin laboratoriopalomuurin linkki siirtämällä secure copylla (SCP:lla) suuria, yli 200 Mb:n videotiedostoja molempiin suuntiin. Tällä pyrittiin kuvaamaan ruuhkatilannetta verkossa, jolloin puhelinongelmia oletettavasti eniten ilmenee.

Näillä laitteilla ja topologialla katettiin riittävä osa puhelupakettien reitistä, jotta tuloksia muuttuneesta verkon toiminnasta saatiin aikaiseksi ja testattua.

ADSL-yhteyksien päässä olevien konttoreiden laitteista vastaa Ålcomm, joten niitten osalta testaaminen ja siihen liittyvä ohjelmistopäivitys jätettiin tämän testikierroksen ulkopuolelle.

5.2 Testitopologia

Testissä käytettiin kahta IP-puhelinta (Aastra Dialog 4422), kahta tietokonetta, kahta kytkintä (Extreme Networks Summit X250e) ja kahta palomuuria (Juniper SSG5). WAN-yhteys oli yrityksen oma, TDC:n ylläpitämä jossa yhteyksinä oli MPLS-VPN. Topologiakuvassa (kuva 4) on kuvattu laitteet, joissa konfiguraatiomuutoksia tehtiin.



Kuva 4. Testitopologia.

5.3 Testausvaihe 1

Testivaiheessa 1 soitettiin ilman, että mitään suunnitelluista muutoksista oli konfiguroitu laitteisiin. Ainoastaan toimenpiteet, joilla pyrittiin kuvaamaan pahinta mahdollista tapausta, oli tehty (tunnelin kaistanleveyden muutos ja linkin ruuhkauttaminen tiedonsiirrolla). Linkin siirtonopeuden kuormitus oli 100%.

Puheluiden yhdistäminen ei onnistunut aina yritettäessä ollenkaan. Yhdistäminen kesti useimmiten sekunteja. Kun puhelu saatiin yhdistymään, äänenlaatu oli erittäin huono ja puhelu katkesi poikkeuksetta. Tämä oli odotettu tulos.

5.4 Testausvaihe 2

Testivaiheessa 2 muutettiin ainoastaan kytkinten konfiguraatiota. Perustettiin uusi jono, Qp5, johon puhelinliikenne ohjattiin käyttäen kytkimen kykyä tutkia pakettien DSCP-arvo.

Huomattiin myös, että jonolajittelussa oli kytkimellä ongelmia ohjelmistoversion ollessa pienempi kuin 12.5.4.5. Asia varmistui laitteen ohjelmointivirheeksi tutkimalla ExtremeXOS:n julkaisutietoja (release notes). Bugin aiheuttama väärä toiminta ohitettiin asettamalla DSCP-arvojen lisäksi koko puhelinVLANin liikenne kulkemaan halutun jonon (Qp5) kautta. Päätettiin päivittää kytkinten ohjelmistoversiot virheen korjaavaan uudempaan versioon.

Laboratorioverkon puoleisessa kytkimessä ohjelmistoversio oli 12.5.4.5. Tässä versiossa liikenteen jakaminen oikeisiin jonoihin toimi moitteetta.

Puhelut yhdistyivät paremmin mutta yhdistäminen kesti joskus muutaman sekunnin. Äänenlaatu oli ajoittain hyvä, mutta keskustelun läpi vieminen ymmärrettävästi vaati sanojen ja lauseiden toistamista. Tämä ei tietenkään ole hyväksyttävää onnistuneen puhelinkeskustelun kannalta.

5.5 Testausvaihe 3

Testivaiheessa 3 lisättiin vielä palomuuureihin sääntö, joka siirsi puhelinliikenteen korkeamman prioriteetin jonoon. CLI-komentoesimerkki löytyy liitteestä 1.

Kun palomuuureihin oli lisätty sääntö, jolla puheluliikenne saa korkeamman prioriteetin, puhelut yhdistyivät saman tien ja niiden äänenlaatu oli erinomainen. Tämä oli odotettu ja toivottu toimintamalli.

5.6 Yhteenveto testaamisesta

Aluksi puheluita ei saatu edes yhdistymään puhelinten välillä. Jokainen muutos toi tullessaan parannuksia. Ehkä jonkinlaisena yllätyksenä voidaan pitää sitä, että jo pelkkä kytkimessä suoritettava priorisointi auttoi niinkin paljon puheluiden laatuun. Kun kaikki muutokset oli tehty, puhelukokemus saatiin toivotulle tasolle.

Tiedonsiirto käytti käytännössä koko kaistanleveyden kun puhelu ei ollut yhdistettynä. Havaittiin, että puheliliikenne sai tarvitsemansa kaistan käyttöönsä korkeamman prioriteettinsä ansiosta. Vastaavasti puheluiden aikana samanaikaisesti siirrettyjen tiedostojen siirtonopeus laski, ja ilmiön todettiin johtuvan halutusta liikenteen priorisoinnista. Puhelun osuus on käytetyllä koodekilla tunneloinnin kanssa yhteensä 85 kbit/s, joten kun linkin siirtonopeus oli VPN-tunnelissa supistettu 256 kbit:iin/s, tiedonsiirrolle jäi kaistaa 171 kbit/s.

Tämä ominaisuus on syytä ottaa huomioon mahdollisia lisäluokkia suunniteltaessa käytettäessä strict priority -jonotusmenetelmää. On pidettävä huoli, ettei jokin tulevaisuudessa implementoitava liikenteen luokka rampauta haitallisesti jotain muuta yritykselle tärkeää liikenneluokkaa.

Kaikki yrityksen verkon sisäinen liikenne, myös VoIP, kulkee toimipisteiden välillä VPN-tunneissa joiden avulla puheluliikenne pysyy suojattuna ulkopuolisilta. Tunnelointi aiheuttaa hieman läpäisyviivettä pakettien reitille, mutta koska VPN-tunnelointia käytetään yrityksessä tulevaisuudessakin, sen osuutta puheluiden toimintaan ei testattu tässä työssä, etenkin kun huomattiin että

liikenteen asettaminen priorisoituihin jonoihin poisti olemassa olleet puheluliikenteen ongelmat.

Jos puhelinliikenteen määrä ylittäisi 100% linkin siirtonopeuskapasiteetista, uudet puhelut eivät enää yhdistyisi lainkaan. Lisäksi kaikki muukin liikenne lakkaisi kulkemasta. VoIP-pakettien ollessa hyvin pieniä, tämä tilanne tuskin tulee koskaan vastaan. Linkin siirtonopeuden ollessa 10 Mbit/s, samanaikaisia puheluita tarvittaisiin 118 kpl linkin tukkimiseksi yrityksen käytössä olevalla koodekillä G.711. Tässä laskelmassa on jätetty pois muun liikenteen osuus, tarkoituksena antaa yleiskuva tilanteesta. Kameravalvonta ja videoneuvottelut on syytä ottaa huomioon arvioitaessa linkkien todellista tarvittavaa siirtonopeuskapasiteettia.

6 EHDOTETUT MUUTOKSET

Yrityksen verkoissa on käytössä lähes puhtaasti oletusarvoinen liikenteen kontrollointi, jossa kaikki liikenne kulkee samanarvoisena samalla prioriteetillä. Jonotusperiaatteena on kaikkialla FIFO (first in – first out). Tämä aiheuttaa kiireellisiin paketteihin, kuten VoIP-paketteihin, turhaa viivettä. Verkossa vaikuttaisi olevan kapasiteettia (kaistanleveyttä) riittävästi lähes jokaisessa sen haarassa.

Ehdotetaan parannuksia liikenteen luokitteluun, priorisointiin ja jonotusjärjestelyihin. Puheluiden laatuun liittyvä asiakastytyväisyyskysely olisi hyvä tehdä eri toimipisteissä ratkaisun käyttöönoton jälkeen, jotta saataisiin lisää tietoa tehtyjen muutosten vaikutuksista.

6.1 Luokittelu

Tähän asti eniten harmia on koitunut VoIP-puheluiden kärsimistä laatuongelmista. Yrityksen verkossa liikkuvat VoIP-paketit sisältävät valmiiksi DSCP-arvot 46 (EF) UDP-liikenteelle ja arvon 20 (AF22) puheluiden kontrollidataliikenteelle. Näitä arvoja voidaan käyttää hyväksi ottamalla DiffServ-malliin perustuvia QoS-elementtejä käyttöön.

6.2 Priorisointi

Annetaan VoIP-liikenteelle korkeampi prioriteetti ja ohjataan omaan jonoonsa. Pidetään huoli siitä, ettei uusi korkeamman prioriteetin liikenne syö liikaa kaistaa muilta tärkeiltä liikennetyypeiltä tarkkailemalla VoIP-liikenteen osuutta kokonaisliikennemäärästä.

6.3 Jonot

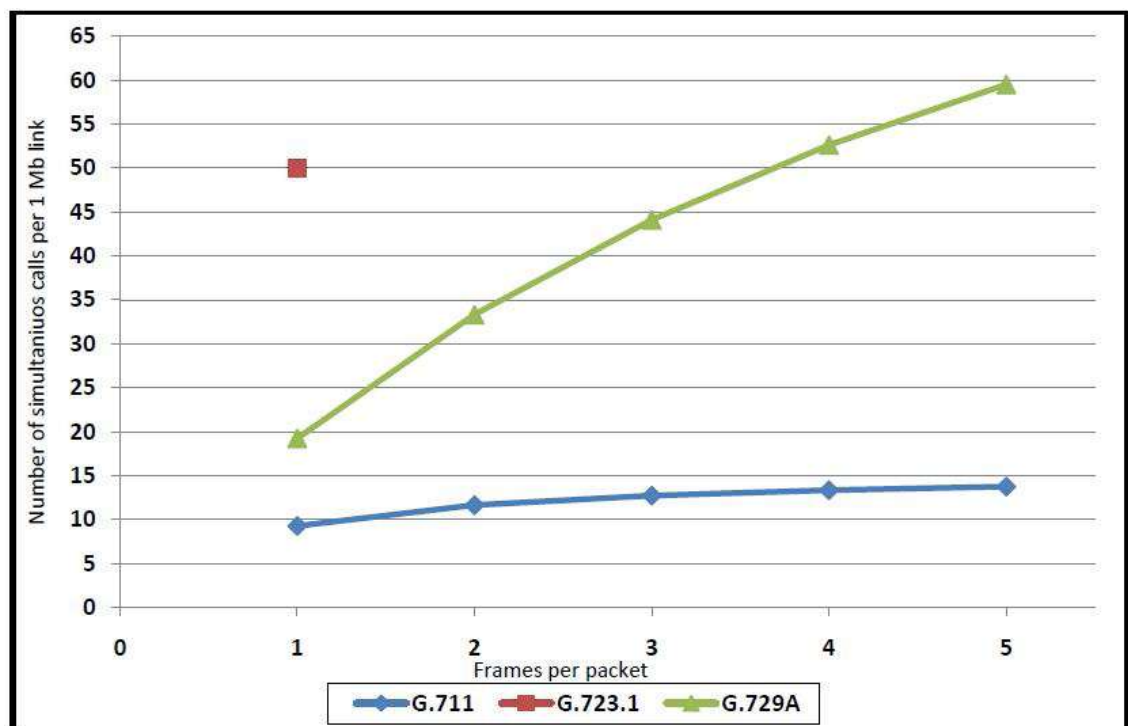
Otetaan käyttöön oma jono VoIP-liikenteelle. Jonotustyyppinä käytetään Strict Priority -jonotusta. Tässä tyyppissä korkeamman prioriteetin jono palvelee kokonaan ennen kuin seuraavan prioriteetin jonoa aletaan käsitellä. Tämän vuoksi suositellaan harkitsemaan asetettavaksi osaan laitteista, lähinnä

palomuuureihin, maksimileveys kyseiselle liikennetyypille (MBW) mikäli uusia ongelmia kaistan varauksen suhteen ilmenee.

6.4 Koodekki

Kun siirtonopeutta on riittävästi käytettävissä, paras koodekki on G.711. Siinä äänenlaatu säilyy parhaiten vaikka paketteja putoaisikin sallittavan rajoissa.

Jos halutaan entisestään tehostaa puheluiden toimivuutta toimipisteissä, joissa siirtonopeus on pieni (esimerkiksi yrityksen käytössä olevat 2 Mbit/s -yhteydet) ja puheluita saattaa olla monta käynnissä yhtä aikaa, on harkittava käytettävän koodekin vaihtamista G.711:stä G.729A:han. G.729 koodekilla samaan kaistanleveyteen mahtuu enemmän puheluita samanaikaisesti (kuva 5). Tämä on todettu suositeltavaksi mm. voip-sip.org:n mukaan [2].



Kuva 5. Samanaikaisten puheluiden määrä 1 Mbit:n linjan yli. [7]

6.5 Laitteet

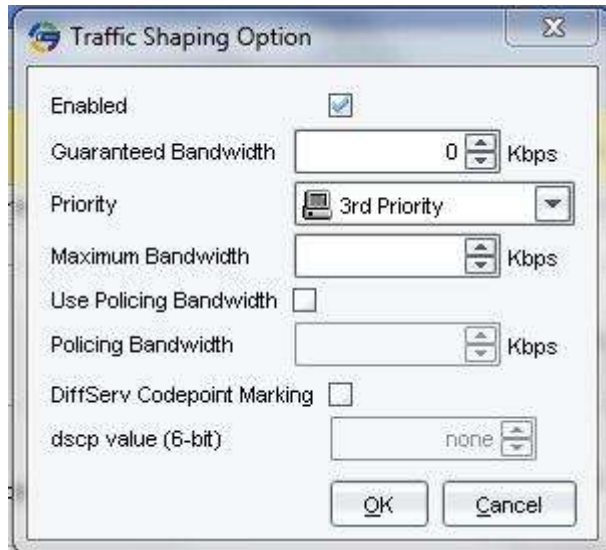
6.5.1 Kytkimet

Kytkimissä on käytössä oletuksena jonot QP1 ja QP8. Konfiguroidaan uusi jono, QP5, VoIP-liikenteelle. QP5 valitaan siksi, että verkossa on käytössä SummitStack-kytkimiä, joissa jonot QP6 ja QP7 ovat pinottujen kytkinten kontrolliliikenteelle varattuja. Näin voidaan varmistaa yhdenmukainen konfiguraatiomalli koko verkossa. Liikenteen jakaminen oikeisiin jonoihin toimii paremmin silloin, kun kytkimen ohjelmistoversio on vähintään 12.5.4.5. Kytkinten laiteohjelmiston päivittäminen on oikean toiminnan kannalta tärkeää. Lisäksi laiteohjelmiston ollessa yli 12.1 myös toinen aiemmin pinoamisen kontrolliliikenteen varaama jono vapautuu käyttöön (QP6) [5]. Jonojen konfigurointiin käytettävät komennot löytyvät liitteestä 1.

6.5.2 Palomuurit

Palomuuressa priorisoidaan VoIP-verkkojen liikenne prioriteetille 3. Tämä toteutetaan editoimalla NSM-hallintaohjelmistolla sääntöjä (policies).

Traffic shaping –kohdasta jätetään guaranteed bandwidth (gbw) arvoon 0 ja maximum bandwidth (mbw) -kenttä jätetään tyhjäksi, jotta esimerkiksi ryhmäpuhelut eivät tuki linkkiä.



Kuva 6. Liikenteen priorisointi NSM-hallintaohjelmalla.

6.5.3 ADSL-modeemit

Osa yrityksen asiakkaan konttoreista on yhdistetty ADSL-yhteydellä yrityksen verkkoon. Jotta liikenne saataisiin priorisoitua näissä konttoreissa paremmin, konttoreiden ADSL-modeemien ohjelmisto (firmware) tulisi päivittää.

ADSL-modeemien ylläpito kuuluu palveluntarjoajalle (Ålcomm) ja laitteen asetusten muutoksentarve voidaan lähes kokonaan ohittaa palomuurissa ja kytkimessä tehtävien muutosten avulla, joten tämän kohdan painoarvo ehdotuksessa on hyvin pieni.

Zhonen DSL-modeemeihin on saatavilla laiteohjelmistopäivitys versioon 3.2.20, joka mahdollistaa liikenteen priorisoinnin käyttäen DSCP-arvoja. Tämä on toivottu parannus, joka helpottaa selkeän ja yhtenäisen DiffServ-mallin toteuttamista.

7 YHTEENVETO

Työssä käsiteltiin puheluliikenteen ja puheluiden laadun ongelmia sekä muodostettiin ratkaisuehdotus ongelmien korjaamiseksi. Työ osoittaa, että Voip-liikenteen ongelmanratkaisuksi ei välttämättä riitä pelkkä kaistanleveyden lisääminen vaan liikenne on priorisoitava oikein, jotta puhelinliikenne kulkee verkossa halutulla tavalla ja puhelukokemuksesta tulee tyydyttävä.

Ratkaisuehdotuksen käyttöönoton jälkeen ei työn kirjoittamisen aikana (2 kk) saapunut ainuttakaan valitusta puheenlaadusta. Ratkaisun yhtenä suurena etuna on sen edullisuus, kun välttyään kaistanleveyden ostamiselta kokonaan. Ratkaisua voidaan helposti soveltaa ja ottaa käyttöön muuallakin missä ilmenee vastaavia ongelmia liikenteen kulkiessa kytkinten ja palomuurien läpi oletusarvoisena FIFO-periaatteen mukaisesti.

VoIP QoS -implementoinnin jälkeen kannattaa tutkia ja seurata uusia tarpeita ja suunnitella lisäluokkia esimerkiksi videoneuvotteluita ja etähallintaliikennettä, kuten Telnet:iä, SSH:ta ja NSM:ää varten.

Videoneuvotteluiden kasvaviin liikennemääriin ja niiden aiheuttamiin vaikutuksiin olisi parasta varautua seuraavaksi. QoS-strategiaa olisi hyvä muokata tämä muutos huomioon ottaen.

Suunniteltaessa on tärkeää muistaa, että korkeamman prioriteetin antaminen jollekin tietylle liikennetyypille alentaa muun liikenteen saamaa palvelun tasoa. Lisäksi on hyvä muistaa, että jokainen uusi luokka tuo mukanaan lisää työtä testauksessa, implementoinnissa ja monitoroinnissa. Yrityksellä on kuitenkin mielestäni resursseja lisäluokkien suunnittelua ja toteutusta ajatellen.

.

LÄHTEET

[1] CCNP4: Optimizing Converged Networks. [www-kurssimateriaali] Saatavilla: <http://cisco.netacad.net>, (luettu 28.7.2011)

[2] Typical VoIP Problems. [www-dokumentti] Saatavilla: <http://www.voip-sip.org/typical-voip-problems/> (luettu 29.10.2011)

[3] Quality of Service. [www-dokumentti] Saatavilla: http://en.wikipedia.org/wiki/Quality_of_service (luettu 15.10.2011)

[4] Configuration Guidelines for DiffServ Service Classes. [www-dokumentti] Saatavilla: <http://tools.ietf.org/html/rfc4594> (Luettu: 16.10.2011)

[5] ExtremeXOS® Concepts Guide. [www-dokumentti] Saatavilla: <http://www.extremenetworks.com/doc.aspx?id=1072>

[6] Datacom - Network Operations. [www-dokumentti] Saatavilla yrityksen intranetistä: <https://wiki.crosskey.ax> (luettu 10.12.2011)

[7] Performance Analysis of VoIP over BGP/MPLS VPN Technology. Saatavilla: <http://www.cms.livjm.ac.uk/pgnet2011/Proceedings/Papers/m1569449659-alsukayti.pdf> (luettu 15.12.2011)

Konfigurointikomennot

Kytkimet

Jonojen lisääminen ja liikenteen ohjaaminen oikeisiin jonoihin DSCP-arvoja käyttämällä:

```
configure qosprof qp5
```

```
configure diffserv examination code-point 46 qp5
```

```
configure diffserv examination code-point 20 qp5
```

```
disable dot1p examination ports all
```

```
enable diffserv examination ports all
```

Palomuurit

CLI

```
set policy id "pol_num" from "zone" to "zone" "Source" "Destination" "Protocol" permit log traffic priority 3
```